4 种干旱判别指数在东北地区适用性分析①

冯冬蕾[1,2]， 程志刚[2]， 赵　雷[3]， 吴　琼[4]， 郑诗宇[5]， 顾正强[6]

(1　辽宁省气象局财务核算中心,辽宁　沈阳　110000； 2　成都信息工程大学大气科学学院,四川　成都　610225；
3　辽宁省本溪市桓仁满族自治县气象局,辽宁　本溪　117200； 4　江西省气候中心,江西　南昌　330096；
5　民航东北地区空中交通管理局气象中心,辽宁　沈阳　110043； 6　沈阳区域气候中心,辽宁　沈阳　110000)

摘　要: 利用东北地区 207 个国家基本气象站 1961—2014 年气象数据,计算改进后的综合气象干旱指数(*MCI*)、相对湿润度指数(*MI*)、标准化降水指数(*SPI*)以及标准化权重降水指数(*SPIW*)这 4 种常见的干旱指数,对比分析其在该区域的适用性,结果表明:在东北地区,4 种气象干旱指数判断历年干旱持续天数及干旱过程强度的演变趋势基本一致;在干旱影响范围方面,*SPI* 和 *SPIW* 指数对较长时间的干旱过程判别效果不佳,*MCI* 指数能够较好的反应各时间尺度干旱过程的影响范围。在空间分布方面,*SPI* 和 *SPIW* 指数无明显经向分布特征,*MCI* 和 *MI* 指数的空间分布特征基本一致,呈现经向分布特征,干旱过程强度及干旱过程持续天数自西向东递减。从不同时间尺度的干旱影响范围、干旱累计强度和干旱持续天数的空间分布以及指数计算方法角度考虑,*MCI* 指数较为接近实际灾情。

关 键 词: 东北地区; 干旱判别指数; 干旱过程; 适用性

文章编号:

近些年来气候的不断变化,世界各地自然灾害频繁发生。对于我国而言,干旱灾害是最为主要的自然灾害之一。我国干旱的发展主要体现为面积增大,灾情加重,频率加快的趋势[1]。IPCC 第五次报告指出,未来全球气候变暖对全球气候系统的变化影响仍将持续,在未来不断变暖的背景下,全球降水将呈现出“干者愈干,湿者愈湿”的趋势[2]。因此对于干旱问题的研究越来越被人们所关注,同时也对我国经济的发展有着重要的意义。

近些年来,有不少的国内外专家、学者对干旱监测等技术进行了研究,其中包括了对不同类别干旱的定义、多种干旱判别指数的确定以及利用各干旱指数分析各地区干旱分布特征等[3-11]。由于不同地区的气候条件存在差异,各种干旱判别指数在各地区的适用性也存在差异。目前,针对这一方面的研究主要集中在华北、西北、西南和淮河地区[12-17],如王素萍等[18]就对 *SPI* 等 7 种干旱判别指数在西南和华南地区月尺度干旱的适用性上进行了研究,得出 *K* 指数更适合该地区月尺度干旱的监测。谢五三等[19]结合安徽省实际灾情,对比分析了综合气象干旱指数 *CI* 等 5 种干旱指标,结果表明在 5 种指数中 *CI* 指标最优。而对于东北地区干旱方面的研究还主要集中在利用各干旱指数对东北地区的干旱特征进行分析:如李明等[20]利用 *SPEI* 指数的判断对东北地区干旱进行了区域划分。马建勇等[21]通过利用标准化降水指数及相对湿润度指数对东北地区的干旱特征进行分析,结果发现该地区的干旱化主要出现在 5 ~9 月。吴琼等[22]通过利用 *MCI* 指数对辽宁省气象干旱的特征进行了研究,结果表明在 2000 年以后辽宁地区气象干旱范围呈现出上升趋势,其中以春旱、秋旱最为明显。而在指数适用性方面,仅有少数学者对其进行研究分析:沈国强等[23]分析了 *SPEI* 指数在东北地区干旱研究中的适用性,结果得到其在干旱预测及定量化研究中适用性较好。而在多干旱判别指数的对比研究方面还较为不足。自 20 世纪 90 年代中期开始,东北地区干旱趋势不断增强[24]。查阅相关灾害大典资料可知,近些年较为严重的干旱事件在东北地区频繁发生:如

① **收稿日期**: 2019 - 03 - 07; **修订日期**: 2019 - 07 - 02
基金项目: 国家科技基础资源调查专项(2017FY100903);国家电网公司总部科技项目(NYB17201800148)资助
作者简介: 冯冬蕾(1991 -),女,助理工程师,研究生,研究方向为主要从事气候变化分析与诊断. E-mail:979263725@ qq. com
通讯作者: 程志刚 (1979 -),男,副教授,研究生导师,主要从事气候变化与气候模拟及公共气象服务研究. E-mail:chengzg@ cuit. edu. cn

1982 年,由于东北大部分地区持续少雨,发生了自 1949 年以来罕见的大旱灾;1997 年 7 月东北平原的中、南部地区降雨量只有 50 ~ 150 mm,较常年相比偏少 50% ~90% ,东北地区出现阶段性旱情[25-33];根据统计结果表明,自 2014 年 8 月以来我国东北部分地区降水量明显减少,内蒙古、吉林、辽宁 3 省(区)受旱面积大,重旱范围广,旱情形势十分严峻。因此,本文基于以上研究,选取了东北地区作为研究区域,运用 4 种常见的干旱判别指数对该区域内干旱监测中的适用性进行了分析,为该区域的干旱监测、预警以及风险评估提供依据。

1 资料与方法

1.1 研究区域

本文的研究区域包括辽宁、吉林、黑龙江 3 省以及内蒙古东四盟(呼伦贝尔盟、哲里木盟、昭乌达盟和锡林郭勒盟),选取该区域内 207 个国家基本气象站的气象资料,研究区域范围及气象站点的分布如图 1。

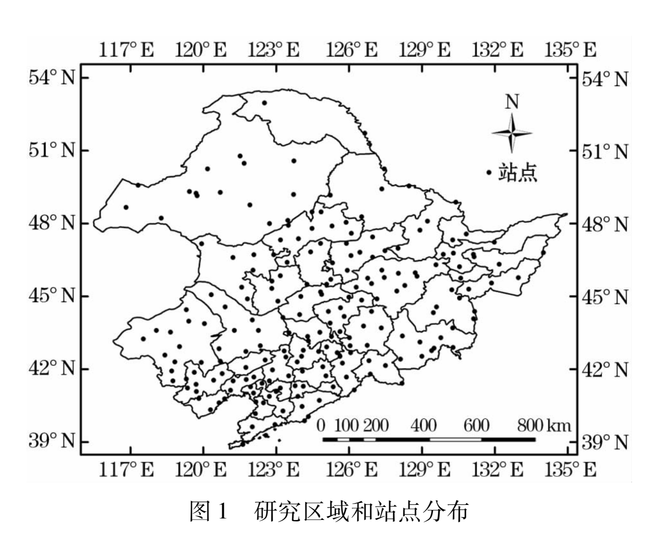


图 1 研究区域和站点分布

Fig. 1 Distribution of the study area and meteorological stations

1.2 资料选取

通过计算国家气候中心提供的所研究区域内 207 个气象站 1961—2014 年逐日气温和降水数据,得到所需要的 4 种干旱判别指数。为了数据的完整性,对所选资料进行了质量控制,对少数缺测及微量的降水资料用零值来代替,少数缺测的气温资料用前后两日的插值计算补全。灾情资料来源于全国及各地灾情大典所记载资料。

1.3 方法介绍

1.3.1 干旱判别指数 本文结合东北地区的气候特点,在众多干旱指数中筛选了 4 种具有代表性的干旱判别指数作为研究对象,它们分别是:改进的综合气象干旱指数(*MCI*)、相对湿润度指数(*MI*)、标准化降水指数(*SPI*)以及标准化权重降水指数(*SPIW*)。

MCI 指数即改进的综合气象干旱指数,是目前国家及各省气象干旱监测业务中使用较为广泛的指数,其计算公式为:

$$MCI = r \times (aSPIW_{60} + bMI_{30} + cSPI_{90} + dSPI_{150}) \quad (1)$$

式中:$SPIW_{60}$是近 60 d 标准化权重降水指数;MI_{30}是近 30 d 相对湿润度指数;SPI_{90}和 SPI_{150}分别是近 90 d 和 150 d 标准化降水指数;a、b、c、d 4 个系数代表各指数的权重,依照国家气候中心相关规定,北方地区的取值为 0.3、0.5、0.3、0.2;r 代表季节系数,1 ~ 12 月分别取值为 0.4、0.4、0.8、1.0、1.0、1.2、1.2、1.2、0.9、0.8、0.4 和 0.4。

MI 指数即相对湿润度指数,其计算公式为:

$$MI = \frac{P - PE}{PE} \quad (2)$$

式中:P 为某时段的降水量(mm);PE 为某时段的可能蒸散量(mm)(用 FAO Penman-Monteith 方法计算得到)[34]。其更直观的表现某一地区一定时间内降水量与蒸发量之间的平衡状态。

SPI 和 *SPIW* 指数是近些年国内外专家学者在研究气象干旱中较为常用的指数,它们是反应气象干旱最为直观的指标,主要表现某时段降水出现的概率;*SPI* 指数是通过计算出某时段内降水量的 τ 分布概率,再进行标准化处理;*SPIW* 指数是学者 LU[35] 利用前期降水对后期旱涝呈指数衰减影响的理论,提出权重降水指数(*WAP*),其计算公式为:

$$WAP = 0.05 \sum_{n=0}^{60} 0.95^n P_n \quad (3)$$

式中:*WAP* 再经过标准化计算后得到 *SPIW* 指数;其中 n 为某时段的长度;P_n 为距当天前第 n 天的降水量(mm),其判别干旱等级的标准与 *SPI* 指数相同。

1.3.2 干旱术语及定义 为了更加科学的对气象干旱进行研究,国家气候中心在 2006 年制定的《气象干旱等级》国家标准 GB/T20481 -2006[33],其中给出的各干旱判别指数判断标准,如表 1:

表 1　4 种干旱判别指数对应的干旱等级

Tab. 1　Classification of meteorological drought for four drought indexes

等级	类型	*MCI*	*MI*	*SPI*	*SPIW*
1	无旱	$-0.5 < MCI$	$-0.40 < MI$	$-0.5 < SPI$	$-0.5 < SPIW$
2	轻旱	$-1.0 < MCI \leq -0.5$	$-0.65 < MI \leq -0.40$	$-1.0 < SPI \leq -0.5$	$-1.0 < SPIW \leq -0.5$
3	中旱	$-1.5 < MCI \leq -1.0$	$-0.80 < MI \leq -0.65$	$-1.5 < SPI \leq -1.0$	$-1.5 < SPIW \leq -1.0$
4	重旱	$-2.0 < MCI \leq -1.5$	$-0.95 < MI \leq -0.80$	$-2.0 < SPI \leq -1.5$	$-2.0 < SPIW \leq -1.5$
5	特旱	$MCI \leq -2.0$	$MI \leq -0.95$	$SPI \leq -2.0$	$SPIW \leq -2.0$

注:*MCI* 改进的综合气象干旱指数,*MI* 相对湿润度指数,*SPI* 标准化降水指数,*SPIW* 标准化权重降水指数

根据以上标准,对干旱过程、干旱持续天数、干旱过程强度及干旱影响范围(站次比)给出以下定义。当干旱判别指数连续 10 d 达轻旱以上等级时,则认为发生一次干旱过程,干旱过程开始日为干旱判别指数第 1 次达到轻旱等级的日期;在干旱持续的时间内,当干旱判别指数连续 10 d 达无旱等级时判定干旱过程结束,干旱结束日为最后 1 次达无旱等级的日期。

干旱持续天数是指从干旱过程开始日到结束日所持续的时间;干旱过程强度是指在干旱过程内所有天的干旱判别指数之和,其值越小表明干旱过程强度越强;干旱影响范围(Ri)又称站次比是指干旱判别指数达轻旱及以上等级的站点数(Ni)与总站点数(N)之比,主要表现干旱面积的大小,计算公式如下:

$$Ri = \frac{Ni}{N} \times 100\% \tag{4}$$

本文对干旱过程持续天数进行了分类,从不同时间尺度分析 4 种干旱指数在不同时间尺度上的判别能力。其分类标准,见表 2:

表 2　干旱持续天数分类标准

Tab. 2　Classification of drought duration

类型	干旱过程持续天数
未超过 1 个月	0 < 持续天数 ≤30
超过 1 个月未达到 3 个月	30 < 持续天数 ≤90
超过 3 个月未达到半年	90 < 持续天数 ≤180
超过半年	180 < 持续天数

2　结果分析

本文在筛选了干旱过程的前提下,对 4 种不同干旱判别指数分别统计干旱过程持续天数,干旱过程强度(以下简称干旱强度),干旱影响范围(站次比)的年际变化及空间分布特征,对比分析 4 种不同干旱判别指数在东北地区的适用情况。

2.1　干旱过程年际变化

从图 2 中可以看出,在干旱过程强度及持续天数两方面,4 种干旱判别指数所呈现的历年干旱过程的整体变化趋势基本一致。干旱过程强度较强的年份分别为 1965 年、1975 年、1982 年、1989 年、2001 年和 2014 年;同样在干旱过程持续天数上判断得到的干旱持续时间较长的年份基本与之吻合。结合近 54 a 的降水和灾情资料可知,在这些年份的年平均降水量偏少,旱灾情况较为严重,各指数所判断出来的干旱强度、持续天数与实际灾情[25-33]基本一致。通过计算 4 种干旱判别指数在干旱过程强度及持续天数的相关系数可知,其彼此相关系数较高且均通过 99% 的显著性检验,这表明 4 种干旱判别指数均能判别出典型的旱年份。

2.2　干旱过程影响范围

根据 4 种干旱判别指数对发生干旱过程持续的天数进行了分类统计,得到结果如图 3 所示。通过图 3 可以更加直观地了解到,4 种干旱判别指数对于持续时间较短(未到 1 个月)(图 3a)的干旱过程,所判断的干旱影响范围基本一致,*MI* 指数相对于其他 3 个指数判别范围较小;而在持续时间超过 1 个月未到 3 个月的干旱过程(图 3b)的判断上,*MCI* 指数所判断的范围略小于其他 3 个指数;当持续时间超过 3 个月(图 3c)时,结合与实际灾情相比较,*MCI* 指数较其他 3 个指数反应的更为细致,如 1976 年和 2000 年[28],*MCI* 指数均较其他 3 种指数更好的判别了当年的干旱过程;当干旱过程持续天数超过半年时(图 3d),*SPI* 及 *SPIW* 指数不能较好的判别干旱影响范围的大小。而 *MCI* 指数对这部分的判断较为敏感。例如从图 3d 中可以看出 2004 年,*MCI* 指数很好的判别出持续时间超过半年的干旱现象,而

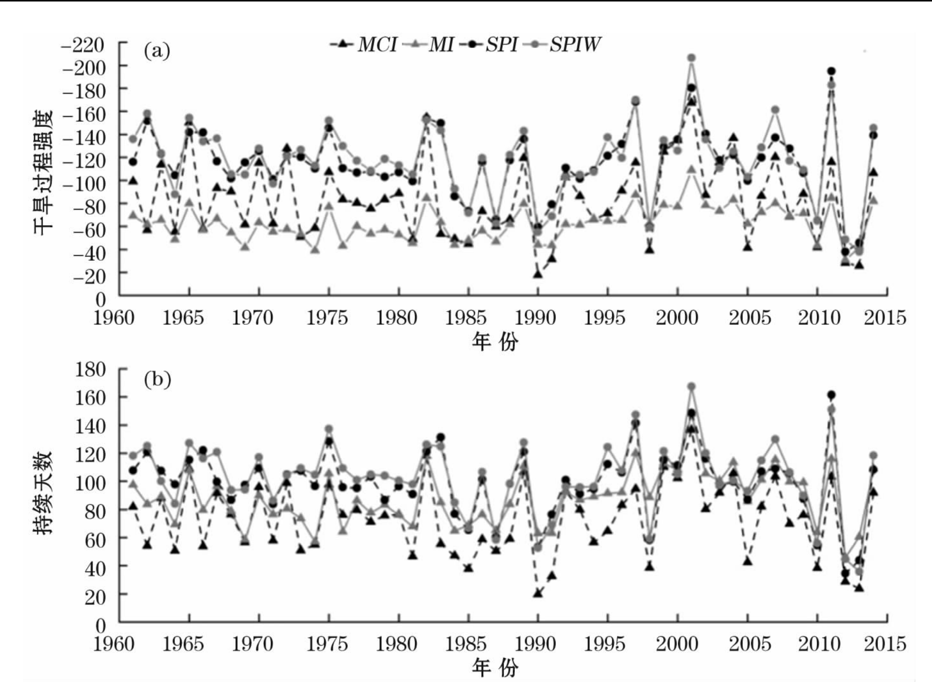


图 2　4 种干旱判别指数对应干旱过程强度及持续天数年际变化

Fig. 2　Interannual variability of drought process intensity and drought duration for four drought indexes

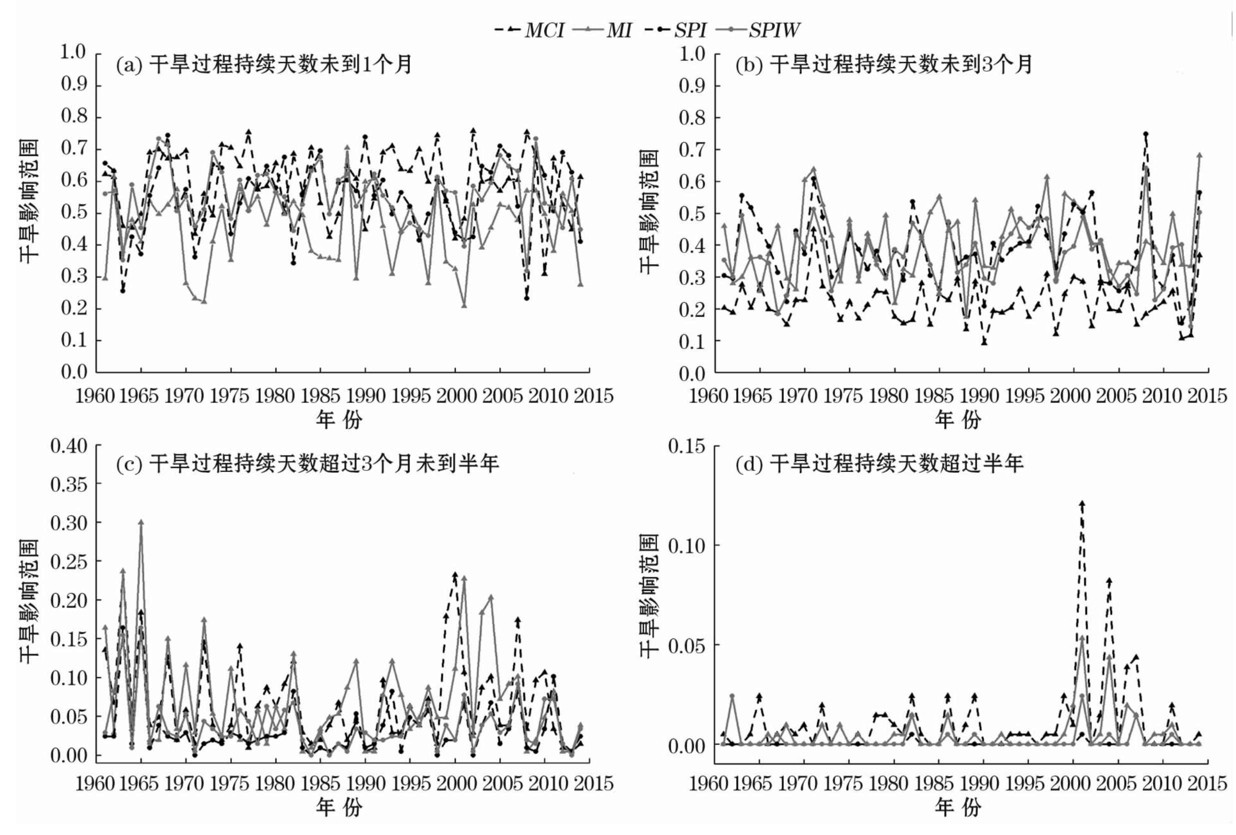


图 3　4 种不同干旱判别指数的干旱影响范围分布

Fig. 3　Distribution of drought impact range for four drought indexes

SPI 及 *SPIW* 指数并没有反应出来，结合实际灾情报告[29]，2004 年上半年东北大部分地区降水持续偏少，至 8 月中旬，内蒙古东北部、吉林西部、黑龙江西南部部分地区干旱仍在持续。这说明仅考虑降水影响的判别指数 *SPI* 及 *SPIW* 对长时间的干旱过程判别较为迟缓。

2.3　干旱过程空间分布

根据分析该区域内每个气象站的干旱过程，首

先计算得到各个站点每年(1961—2014 年)的干旱过程强度及干旱过程持续天数,最后计算得到东北地区 207 个气象站历年平均干旱过程强度及持续天数的空间分布,体现东北地区近 54 a 来干旱的空间分布特征。

2.3.1 干旱持续天数空间分布 通过图 4 可以看出,*SPIW* 及 *SPI* 指数判别的干旱持续天数的大值区分布较为零散,无较为明显的经向分布特征,表明这 2 种干旱判别指数对东北地区干旱过程持续天数的经向分布特征诊断效果较差,其可能与资料、指数的计算方法及值域的选取等方面有关。在本文中,所选取的资料为历史资料,值域则根据国家标准界定,因此暂不考虑是这 2 个因素的影响。其原因主要考虑这 2 种指数的计算方法。由计算公式可知,*SPIW* 及 *SPI* 这 2 种判别指数只考虑了降水因素的影响,并未考虑蒸散等作用的影响,并且在利用降水资料拟合某种函数方法方面,降水资料的真实分布与拟合函数的分布往往存在差异,这可能使在函数计算时,对降水的分布差异有一定的消除作用。

MCI 和 *MI* 指数判断得到的干旱过程持续天数空间分布方面基本一致,呈经向分布特征,干旱持续天数自西向东递减,在东北平原以西地区干旱持续时间较长,在长白山山脉附近地区干旱持续时间较短。

2.3.2 干旱过程强度空间分布 图 5 为 4 种不同干旱判别指数在干旱过程强度方面的空间分布情况,从图中(图 5c 和图 5d)可以得到,*SPIW* 指数和 *SPI* 指数在干旱强度的空间分布上的形势基本一致,空间分布特征并不明显,与 *MCI* 及 *MI* 指数判断的干旱过程强度分布有所差异,但结合实际降水分析,得到这种分布可能的原因是 *SPIW* 及 *SPI* 指数仅考虑降水因素的影响,并没有考虑蒸散及水分收支平衡的作用,这使得其空间分布特征与降水空间分布特征呈现相反性,即降水多,表现的干旱强度低;降水少,表现的干旱强度高。从图 5a 和图 5b 中可以看出,*MCI* 指数和 *MI* 指数在干旱过程强度上空间分布也存在着明显的经向分布特征,在东北平原以西地区为干旱过程强度的高值区,在长白山山脉

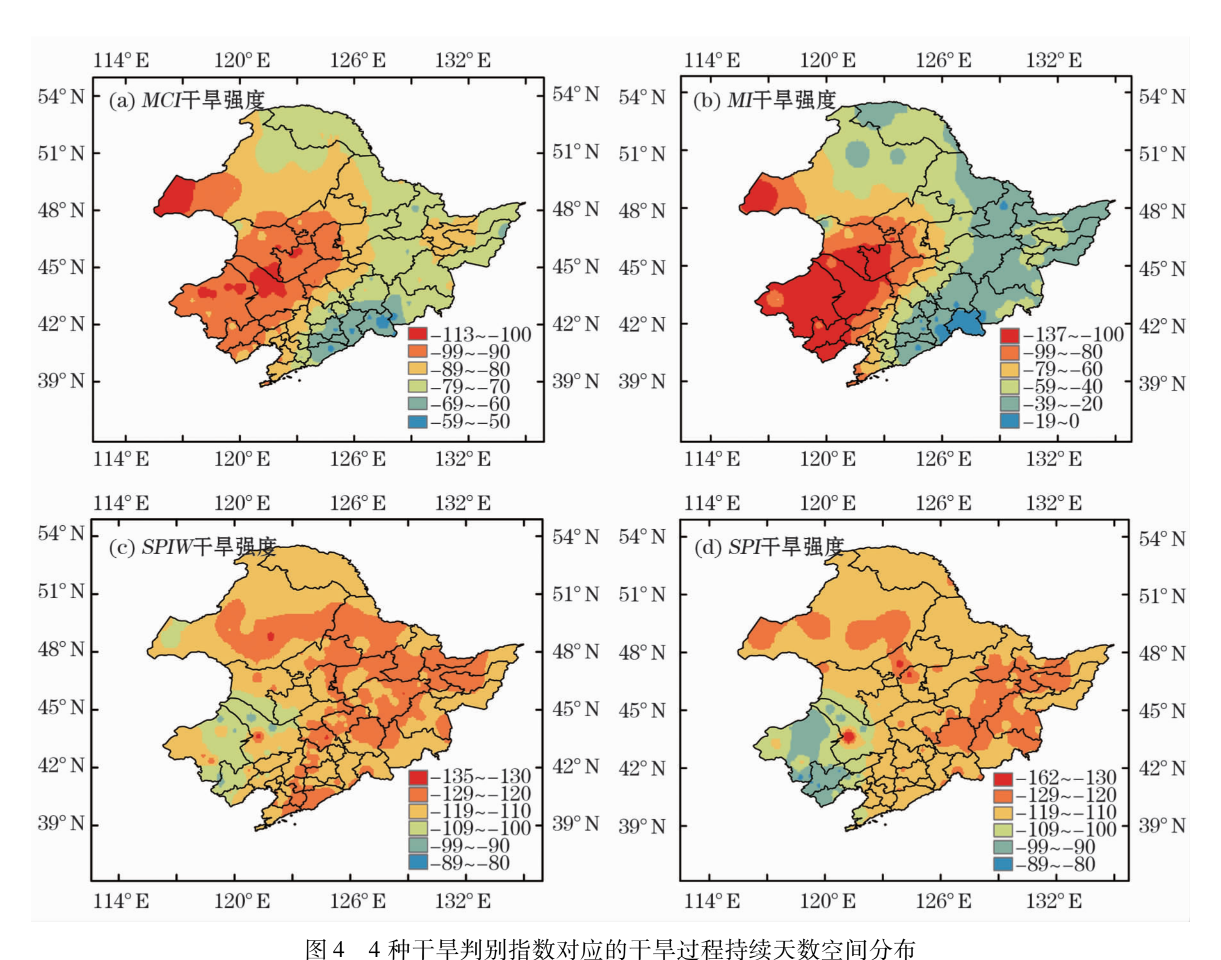


图 4 4 种干旱判别指数对应的干旱过程持续天数空间分布

Fig. 4 Spatual distribution of drought duration for the four drought indexes

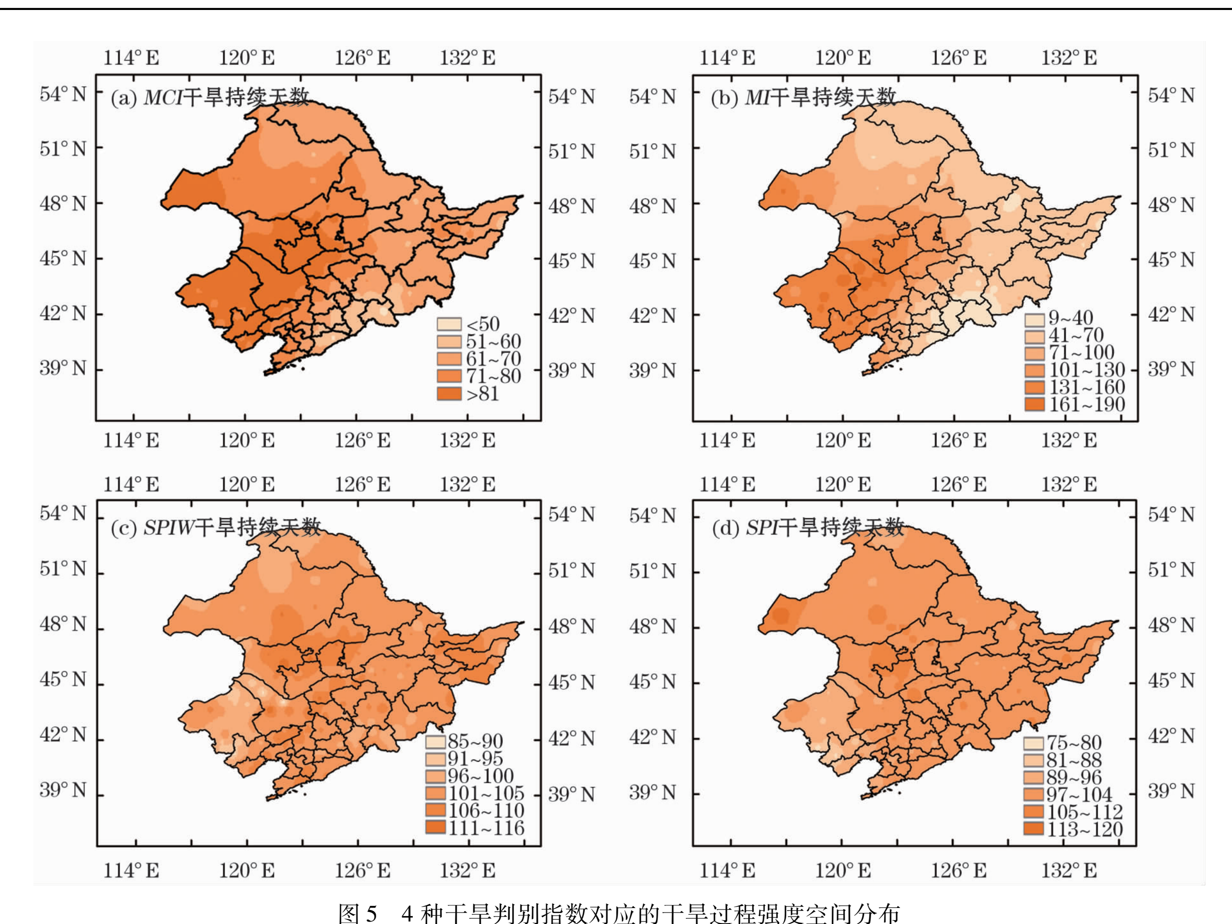


图 5　4 种干旱判别指数对应的干旱过程强度空间分布

Fig. 5　Spatial distribution of drought process intensity for the four drought indexes

附近地区为干旱过程强度的低值区。

根据干旱过程持续天数和过程强度两者的空间分布情况，结合实际灾情[25-33]及降水分布特征对比，可以表明 *SPIW* 和 *SPI* 指数对于东北地区干旱过程的空间分布特征诊断效果较差；*MCI* 及 *MI* 指数则对其诊断效果较好。对 *MCI* 和 *MI* 指数的优劣再进行分析，可知 *MCI* 指数为最优，其主要原因可分为两点：一是在计算方法方面，*MCI* 指数是 *MI*，*SPIW* 和 *SPI* 指数加权平均得到的，不仅考虑了月尺度和季尺度气温和降水的影响，同时也考虑了季节因素的影响，从干旱形成机理的角度来说，其考虑的较为全面；二是虽然 *MCI* 和 *MI* 指数判断得到的干旱年际变化，空间分布等总体趋势基本一致，但 *MI* 指数对于干旱过程的判别更为敏感，且在干旱过程强度的分析上更为严重。*MCI* 指数较 *MI* 指数来说更为接近实际旱灾情况[25-33]，更能准确的反应东北地区干旱过程的年际变化、空间分布及干旱影响范围。

3　结论

（1）4 种干旱判别指数计算得到的历年干旱过程持续天数及干旱过程强度的演变趋势基本一致，在干旱过程持续时间较长和干旱过程强度较强的年份方面，与东北地区历年灾害记录基本吻合。

（2）在干旱影响范围方面，*SPIW* 和 *SPI* 指数对较长时间尺度的干旱过程判别效果不好；*MI* 指数存在着明显的跳跃性；*MCI* 指数能较好的反应各时间尺度干旱过程的影响范围。在空间分布方面，*SPIW* 和 *SPI* 指数无明显空间分布特征，*MCI* 和 *MI* 指数的空间分布特征基本一致，呈现经向分布特征，干旱过程强度及干旱过程持续天数自西向东递减，东北平原以西地区的干旱过程强，持续时间长。

（3）从不同时间尺度干旱影响范围、干旱累计强度和持续天数空间分布特征以及指数计算方法角度考虑，*MCI* 指数的判别结果较其他 3 个指数更为接近实际灾情。

（4）本文在考虑干旱指数在东北地区适用性分析上仅考虑了 4 种指数在干旱过程强度及持续天数上的判别效果，考虑的因素不够全面。从实际资料

可知,东北地区干旱存在明显的季节特征,可以在后续研究中增加对季节干旱判别的分析,使其适用性分析更加准确。

参考文献(References)

[1] 黄会平. 1949—2007 年我国干旱灾害特征及成因分析[J]. 冰川冻土,2010,32(4):659－665. [HUANG Huiping. Analysis of the characteristics and causes of drought in China from 1949 to 2007[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2010,32(4):659－665.]

[2] 秦大河,STOCKER T. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展,2014,10(1):1－6. [QIN Dahe,STOCKER T. Highlight of the IPCC working group I fifth assessment report[J]. Climate Change Research,2014,10(1):1－6.]

[3] 孙荣强. 干旱定义及指标评述[J]. 灾害学,1994,9(1):17－21. [SUN Rongqiang. Definitions of drought and reviews on its index[J]. Journal of Catastrophology,1994,9(1):17－21.]

[4] 刘庚山,郭安红,安顺清,等. 帕默尔干旱指标及其应用研究进展[J]. 自然灾害学报,2004,13(4):21－27. [LIU Gengshan,GUO Anhong,AN Shunqing,et al. Research progress in Palmer drought severity index and its application[J]. Journal of Natural Disasters,2004,13(4):21－27.]

[5] 邹旭凯,张强,王有民,等. 干旱指标研究进展及中美两国国家级干旱监测[J]. 气象,2005,31(7):6－9. [ZOU Xukai,ZHANG Qiang,WANG Youmin,et al. Drought indices and operation drought monitoring in the U. S. A. and China[J]. Meteorological Monthly,2005,31(7):6－9.]

[6] RICHARD R,HEIM Jr. A review of twentieth-century drought indices used in the United States[J]. Bulletin of the American Meteorological Society,2002,83(8):1149－1165.

[7] 袁文平,周广胜. 干旱指标的理论分析与研究展望[J]. 地球科学进展,2004,19(6):982－991. [YUAN Wenping,ZHOU Guangsheng. Theoratical study and research prospect on drought indices[J]. Advances in Earth Science,2004,19(6):982－991.]

[8] 蒋慧敏,刘春云,贾健,等. 乌鲁木齐地区夏季气象干旱的变化特征及成因分析[J]. 干旱区地理,2018,41(4):693－700. [JIANG Huimin,LIU Chunyun,JIA Jian,et al. Characteristics and causes of meteorological drought in summer in Urumqi[J]. Arid Land Geography,2018,41(4):693－700.]

[9] 薛海丽,张钦,唐海萍. 近 60 a 内蒙古不同草原类型区极端气温和干旱事件特征分析[J]. 干旱区地理,2018,41(4):701－711. [XUE Haili,ZHANG Qin,TANG Haiping. Extreme temperature and drought events in four different grassland areas of Inner Mongoliain in recent 60 years[J]. Arid Land Geography,2018,41(4):701－711.]

[10] 高涛涛,殷淑燕,王水霞. 基于 SPEI 指数的秦岭南北地区干旱时空变化特征[J]. 干旱区地理,2018,41(4):761－770. [GAO Taotao,YIN Shuyan,WANG Shuixia. Spatial and temporal variations of drought in northern and southern regions of Qinling Mountains based on standardized precipitation evapotranspiration index[J]. Arid Land Geography,2018,41(4):761－770.]

[11] 邹旭凯,张强. 近半个世纪我国干旱变化的初步研究[J]. 应用气象学报,2008,19(6):679－687. [ZOU Xukai,ZHANG Qiang. Preliminary studies on variations in droughts over China during past 50 years[J]. Journal of Applied Meteorological Science,2008,19(6):679－687.]

[12] 杨小利,王丽娜. 4 种干旱指标在甘肃平凉地区的业务适用性分析[J]. 干旱气象,2013,31(2):419－424. [YANG Xiaoli,WANG Lina. Analysis of operation adaptability of four drought indices in Pingliang of Gansu Province[J]. Journal of Arid Meteorology,2013,31(2):419－424.]

[13] 王兰芝,王劲松,李耀辉,等. 标准化降水指数与广义极值分布干旱指数在西北地区应用的对比分析[J]. 高原气象,2013,32(3):839－847. [WANG Lanzhi,WANG Jinsong,LI Yaohui,et al. Comparison of application between generalized extreme value index and standardized precipitation index in northwest China[J]. Plateau Meteorology,2013,32(3):839－847.]

[14] 段莹,王文,蔡晓军. *PDSI*,*SPEI* 及 *CI* 指数在 2010/2011 年冬,春季江淮流域干旱过程的应用分析[J]. 高原气象,2013,32(4):1126－1139. [DUAN Ying,WANG Wen,CAI Xiaojun. Applied analyses on Palmer,*SPEI* and *CI* indices of drought process in Yangtze-Huaihe River basins during winter of 2010/spring of 2011[J]. Plateau Meteorology,2013,32(4):1126－1139.]

[15] 蔡晓军,茅海洋,王文. 多尺度干旱指数在江淮流域的适用性研究[J]. 冰川冻土,2013,35(4):978－989. [CAI Xiaojun,MAO Haiyang,WANG Wen. Study of the adaptability of multiscale drought indices in Yangtse-Huaihe River Basins[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2013,35(4):978－989.]

[16] 杨世刚,杨德保,赵桂香,等. 三种干旱指数在山西省干旱分析中的比较[J]. 高原气象,2011,30(5):1406－1414. [YANG Shigang,YANG Debao,ZHAO Guixiang,et al. Analysis of applicability of three drought indices for drought events in southwest China[J]. Plateau Meteorology,2011,30(5):1406－1414.]

[17] 熊光洁,王式功,李崇银,等. 三种干旱指数对西南地区实用性分析[J]. 高原气象,2014,33(3):686－697. [XIONG Guangjie,WANG Shigong,LI Chongyin,et al. Analysis of applicability of three drought indices for drought events in southwest China[J]. Plateau Meteorology,2014,33(3):686－697.]

[18] 王素萍,王劲松,张强,等. 几种干旱指标对西南和华南区域月尺度干旱监测的适用性评价[J]. 高原气象,2015,34(6):1616－1624. [WANG Suping,WANG Jinsong,ZHANG Qiang,et al. Applicability evaluation of drought indices in monthly scale drought monitoring in southwestern and southern China[J]. Plateau Meteorology,2015,34(6):1616－1624.]

[19] 谢五三,田红. 五种干旱指标在安徽省应用研究[J]. 气象,2011,37(4):503－507. [XIE Wusan,TIAN Hong. Study of the application of five drought indexes in Anhui Province[J]. Meteorological Monthly,2011,37(4):503－507.]

[20] 李明,王文贵,张莲芝. 基于 SPEI 的中国东北地区干旱分区及其气候特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(6):65－70. [LI Ming,WANG Wengui,ZHANG Lianzhi. Drought characteristics analysis and the zoning based on standardized precipitation evapotranspiration index in northeast China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2016,30(6):65－70.]

[21] 马建勇,许吟隆,潘婕. 基于 *SPI* 与相对湿润的指数的 1961—2009 年东北地区 5—9 月干旱趋势分析[J]. 气象与环境学报,2012,28(3):90－95. [MA Jianyong, XU Yinlong, PAN Jie. Drought tendency based on standardized precipitation index(*SPI*) and relative moisture index over northeast China from May to September during 1961－2009[J]. Journal of Meteorology and Environment,2012,28(3):90－95.]

[22] 吴琼,赵春雨,王大钧,等. 1951—2014 年辽宁省气象干旱时空特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(3):151－157. [WU Qiong,ZHAO Chunyu,WANG Dajun,et al. Spatial and temporal characteristics of meteorological drought in Liaoning Province from 1951 to 2014[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2016,30(3):151－157.]

[23] 沈国强,郑海峰,雷振锋. *SPEI* 指数在中国东北地区干旱研究中的适用性分析[J]. 生态学报,2017,37(11):1－9. [SHEN Guoqiang,ZHENG Haifeng,LEI Zhenfeng. Applicability analysis of *SPEI* for drought research in northeast China[J]. Acta Ecologica Sinica,2017,37(11):1－9.]

[24] 孙力,沈柏竹,安刚. 中国东北地区地表干湿状况的变化及趋势分析[J]. 应用气象学报,2003,14(5):541－552. [SUN Li, SHEN Baizhu,AN Gang. A study of the variation and tendency of surface dry-and-wet state of northeast area in China[J]. Journal of Applied Meteorological Science,2003,14(5):541－552.]

[25] 温克刚,沈建国. 中国灾害大典:内蒙古卷[M]. 北京:气象出版社,2008:63－89. [WEN Kegang,SHEN Jianguo. China disaster canon:Inner Mongolia volume[M]. Beijing:China Meteorological Press,2008:63－89.]

[26] 温克刚,秦元明. 中国灾害大典:吉林卷[M]. 北京:气象出版社,2008:174－210. [WEN Kegang,QIN Yuanming. China disaster canon:Jilin volume[M]. Beijing:China Meteorological Press, 2008:174－210.]

[27] 温克刚,丁一汇. 中国灾害大典:综合卷[M]. 北京:气象出版社,2008:157－229. [WEN Kegang,DING Yihui. China disaster canon:Comprehensive volume[M]. Beijing:China Meteorological Press,2008:157－229.]

[28] 温克刚,沈建国. 中国灾害大典:黑龙江卷[M]. 北京:气象出版社,2008:1－200. [WEN Kegang,SHEN Jianguo. China disaster canon:Heilongjiang volume[M]. Beijing:China Meteorological Press,2008:1－200.]

[29] 董文杰,张强,郭进修,等. 中国气象灾害年鉴(2005)[M]. 北京:气象出版社,2006:8－40. [DONG Wenjie,ZHANG Qiang, GUO Jinxiu,et al. The handbook of China meteorological disasters (2005)[M]. Beijing:China Meteorological Press,2006:8－40.]

[30] 董文杰,何勇,陈峪,等. 中国气象灾害年鉴(2007)[M]. 北京:气象出版社,2007:20－21. [DONG Wenjie, HE Yong, CHEN Yu,et al. The handbook of China meteorological disasters(2007) [M]. Beijing:China Meteorological Press,2007:20－21.]

[31] 肖子牛,叶殿秀,王凌,等. 中国气象灾害年鉴(2008)[M]. 北京:气象出版社,2008:12－15. [XIAO Ziniu, YE Dianxiu, WANG Ling,et al. The handbook of China meteorological disasters (2008)[M]. Beijing:China Meteorological Press,2008:12－15.]

[32] 肖子牛,陈峪,高荣,等. 中国气象灾害年鉴(2009)[M]. 北京:气象出版社,2009:11－16. [XIAO Ziniu, CHEN Yu, GAO Rong,et al. The handbook of China meteorological disasters(2009) [M]. Beijing:China Meteorological Press,2009:11－16.]

[33] 任福民,龚志强,王艳姣,等. 中国干旱,强降水,高温和低温区域性极端事件[M]. 北京:气象出版社,2015:33－87. [REN Fumin,GONG Zhiqiang,WANG Yanjiao,et al. China's regional extreme events:Droughts, intense precipitations, heat waves and low temperature[M]. Beijing:China Meteorological Press,2015:33－87.]

[34] 张强,邹旭凯,肖风劲,等. 气象干旱等级(GB/T20481－2006) [S]. 北京:中国标准出版社,2006:12－17. [ZHANG Qiang, ZOU Xukai, XIAO Fengjin, et al. Classification of Meteorological drought(GB/T20481－2006)[S]. Beijing:Standards Press of China,2006:12－17.]

[35] LU E. Determining the start, duration, and strength of flood and drought with daily precipitation:Rationale[J]. GeophysResLett, 2009,36:L12707.

Applicability analysis of four drought indexes in northeast China

FENG Dong-lei[1,2], CHENG Zhi-gang[2], ZHAO Lei[3], WU Qiong[4], ZHENG Shi-yu[5], GU Zheng-qiang[6]

(1 *Liaoning Provincial Meteorological Bureau Financial Accounting Centre*, *Shenyang* 110000, *Liaoning*, *China*

2 *Chengdu University of Information Technology*, *Chengdu* 610225, *Sichuan*, *China*

3 *Huanren Manchu Autonomous County Meteorological Bureau of Benxi*, *Benxi* 117200, *Liaoning*, *China*

4 *Jiangxi Provincial Climate Center*, *Nanchang* 330096, *Jiangxi*, *China*

5 *Northeast Air Traffic Management Bureau of CAAC*, *Shenyang* 110043, *Liaoning*, *China*

6 *Shenyang Regional Climate Centre*, *Shenyang* 110000, *Liaoning*, *China*)

Abstract: Northeast China is not only a significant cultural and economic region but also an important agricultural production area in China. With the continuous climate changes of recent years, the frequency and scope of droughts in northeast China have been increasing. It is important to better monitor and provide warnings of drought development in northeast China and to provide a basis for drought risk assessments in this region. This study used the daily meteorological data from 207 weather stations in northeast China, including data from three northeastern provinces and eastern Inner Mongolia, from 1961 to 2014 for the drought risk assessment. According to the National Classification for meteorological drought standards, the applicability of four drought indices, namely *MCI*, *MI*, *SPI*, and *SPIW*, in northeast China was evaluated. The results showed that the temporal evolution of the number of drought days and the intensity of drought processes obtained by four meteorological drought indices are generally consistent in northeast China. *SPI* and *SPIW* show poor performance for drought-affected areas for longer drought processes. Compared with those two indices, *MCI* can reflect the range of drought impacts for various time periods. In their spatial distributions, *SPI* and *SPIW* show no clear spatial meridional variations. *MCI* and *MI* are spatially consistent in that they show meridional distribution and decline from west to east. From the drought-affected areas at different time scales, the spatial distribution of the drought intensities, drought duration, and the various index calculation methods, *MCI* most closely represents the actual drought disasters.

Key words: northeast China; drought index; drought process; applicability